الباب الخامس عشر

القوى والاجهادات فى السكة

شغلت القوى والإجهادات فى القضبان وأربطتها وفى الفلنكات وكذا توزيع الضغوط من الفلنكات إلى أساس السكة بال مهندسى السكك الحديدية فبحثوها طويلا ولكن الموضوع بالغ من التعقيد مبلغاً لم يتمكن المهندسون بعد من حله الحل الصحيح الذى يلقى الضوء على الإجهادات المعرضة لها السكة .

والقوى المؤثرة على نوعين نوع إستاتيكى ونوع ديناميكى . وبديهى أن القوى الإستاتيكية معلومة المقدار والوضع ولكن القوى الديناميكية الناجمة عن انتقال الأحمال وغير ذلك من الأسباب ليست معلومة ولذا فهى تترك للتقدير .

القوى الإستاتيكية والإجهادات الناتجة عنها

ولو أن القوى الإستاتيكية معروفة من حيث مقدارها والمسافات التى تفصل بينها إلا أنه ليس من السهل حساب الإجهادات الناتجة عنها . فالموضوع معقد والقيم التى يمكن الحصول عليها بالحساب لا يعززها برهان لافتقارها إلى الدليل العملى بحيث أصبح من غير المفيد أن يكلف الإنسان نفسه مؤونة الاسترسال فى تفاصيل عملياتها الرياضية .

والقضيب فى الواقع عبارة عن عتب مستمر محمل على ركائز مرنة فاذا اعتبر الترخيم متناسب مع الأثقال الرأسية فإن الاجهادات تحت الفلنكات تربطها بالترخيم العلاقة الآتية :

$$ص = ا \cdot س$$

حيث ص قيمة الجهد تحت ارتكاز الفلنكة .

و س الترخيم عند نفس الموضع .

و ا ثابت يتوقف على نوع مادة التزليط تحت الفلنكة ودرجة الدك ونوع مادة الأساس .

ولا يمكن الجزم بقيمة ص إلا إذا تحققت قيمة الثابت ا وظلت قيمته ثابتة أيضاً . وتختلف قيمة الثابت ا من ٣ فى حالة التزليط الردىء إلى ٨ فى حالة التزليط الجيد . وهذا الاختلاف البين فى قيمة الثابت يوضح بجلاء أن ليس من المفيد الاسترسال فى حل المعادلة التفاضلية للأعتاب المستمرة المحملة على ركائز مرنة والتى تصبح فى هذه الحالة .

$$ى \cdot عو \cdot \frac{د^٤ ص}{د س^٤} = - ص ع$$

$$= - ا س ع$$

حيث ى = معامل المرونة لمادة القضيب .

ω = عزم القصور الذاتى للقضيب .

ع = عرض الفلنكة .

وللسهولة يعتبر القضيب كعتب مستمر محمل على ركائز ثابتة وهذا الاعتبار غير صحيح أيضاً إذ أنه لو تفكك الدك تحت فلنكة ما فإن القضيب قد يصبح مرتكزاً على فتحة تساوى ضعف مسافة الفلنكات وإذن فالفتحة المعتبرة فى المعادلة تكون نصف الفتحة الواقعية .

القوى الديناميكية

القوى الديناميكية التى تؤثر على السكة متعددة المصادر وسنأتى على مفرداتها فيما يلى :

أولا — القوى الديناميكية الناتجة من القاطرة :

حيث أن القاطرة بما فيها من قطع حركة تسبب أثناء سيرها قوى ديناميكية تعمل على طرق السكة واهتزازها وجب أن نستعرض ولو بطريق الإجمال الحركات التى تؤثر فى اتزانها لكى نصل إلى معرفة تأثيرها على السكة .

إن قوة البخار التى تسبب اندفاع المكابس فتطلقها وما يتصل بها من أذرع فى حركة توافقية simple harmonic motion كما تسبب انطلاق بعض الكتل فى الدوران حول محاورها . كل هذه الحركات تسبب قوى وازدواجات يتطلب بحثها دراسة موضوع موازنة الكتل الدائرة والكتل التوافقية .

وليس المجال هنا مجال استنباط القوانين المختلفة فهذه يمكن الرجوع إليها فى كتب نظريات الآلات . ولكن المجال يتسع إلى تلخيص ما تتطلبه الحركتان من اتزان .

موازنة الكتل الدائرة :

تسبب الكتلة الدائرة حول محور ما قوة مركزية طاردة إلى الخارج يتناسب مقدارها مع وزن الكتلة وبعدها عن المركز . فإذا كانت هناك مجموعة من هذه الكتل تدور حول محور واحد فإنه يمكن تمثيلها بقوة واحدة تعمل فى مستوى دوران مواز وازدواج يعمل فى مستو متعامد مع هذا المستوى .

وتوازن مجموعة الكتل هذه بكتلتين ترتبان بحيث تعطيان محصلة فى اتجاه وازدواجاً فى اتجاه آخر يتسبب عنهما قفل مضلعى القوى والازدواج .

موازنة الكتل المتحركة فى حركة توافقية :

يتحرك المكبس وعامود حركة توافقية فى اتجاه محور المشوار . أما ذراع التوصيل فله حركتان حركة دائرية وحركة توافقية ويمكن الاستعاضة عنه بكتلتين إحداهما مركزة فى الرأس Cross-head ولها حركة توافقية فقط والأخرى عند طرف الكرنك ولها حركة دائرية فقط . ويمكن الحصول على

قيمة هاتين الكتلتين إذ هما تساويان تقريباً ردى الفعلين عند ركيزتين توضعان تحت الذراع أسفل محوريه وتضم الكتلة الدائرة إلى الكتل الدائرة الأخرى والكتلة التوافقية إلى الكتل التوافقية الأخرى .

ويهمنا الآن معرفة تأثير الكتل التى تتحرك حركة توافقية وهذه إن عرف وزنها « و » وسرعتها فى الاتجاه الأفقى « ع » وهى تساوى :

$$\text{ر س}^{٢} \left(\text{جتا } \theta + \frac{\text{جتا } ٢\theta}{\text{ن}} \right)$$

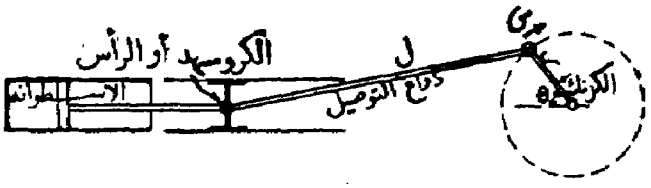
حيث ر = نصف قطر الكرنك .

س = سرعة طرف الكرنك .

θ = زاوية انفراج الكرنك .

$\text{ن} = \frac{\text{ل}}{\text{ر}}$ أنظر شكل نمرة (٣٢٢) .

(ل طول ذراع التوصيل)



شكل نمرة (٣٢٢)

لأمكن استنتاج القوة الناتجة عنها إذ تساوى $\frac{\text{و}}{\text{ح}}$. ع وهذه تارة تكون بالناقص وتارة تكون بالزائد فتسبب رد فعل على جسم الآلة مساو لها ومضاد فى الاتجاه . ونظراً لأن رد الفعل هذا يختلف باستمرار فى القيمة والاتجاه فإنه يعمل على إثارة اهتزازات فى جسم الآلة .

وتعمل هذه القوة بطبيعة الحال فى اتجاه محور المشوار وحيث أن القاطرات الشائعة هى من ذات الأسطوانتين وهما توضعان فى مستوى واحد فإن ذلك ينتج عنه ازدواجات تحاول إدارة الآلة حول محور متعامد مع مستوى الحركة التوافقية وإذن يتحتم موازنة هذه التأثيرات أولا بموازنة القوتين الصادرتين من الحركة التوافقية فى كل من الأسطوانتين وثانياً بموازنة الازدواج حول المحور الرأسى .

وحيث أنه لضمان إمكان بدء الحركة من أى وضع يعمل وضع المكبس فى أحدهما متعامداً مع وضع المكبس الآخر أى أنه إذا كان المكبس فى أحدهما فى منتصف المشوار فيكون المكبس الآخر فى بداية المشوار فإن القوة المراد وزنها تصبح تساوى :

$$\pm \sqrt{٢ \left(\frac{\text{و}}{\text{ح}} \right) \text{ر}^{٢} \text{س}^{٢}}$$

ويصبح الازدواج الناتج عنها والذى يعمل فى مستوى الأسطوانتين وحول المحور الرأسى يسبب دوران القاطرة فى حركة تموجية swaying motion مرة إلى اليمين ومرة إلى اليسار وهكذا . وهذا الازدواج التموجى يساوى $\sqrt{٢ \frac{و}{ح}}$ س^{٢} ر ص

حيث ص البعد الأفقى بين وضع الكرنك والمحور الطولى للقاطرة .

فإذا لم توازن القوة $\pm \sqrt{٢ \frac{و}{ح}}$ س^{٢} ر فإن جر القاطرة يزداد وينقص بمقدارها . هذا إلى أن هذه القوة قد تسبب ازدواجاً فى مستوى رأسى إذا كان خط عملها يرتفع أو ينخفض عن مستوى عامود الجر فيتأثر بذلك مقدار الضغط على القضيب .

وتوازن القوة والازدواج التموجى السالفى الذكر بواسطة كتل توضع عند أطواق عجلات الجر وهذه علاوة على الكتل السابقة التى توضع لموازنة مجموعة الكتل الدائرة .

غير أن موازنة الحركة التوافقية بكتل دائرة بينما هى تسبب الاتزان فى خط المشوار وكذلك اتزان الازدواج التموجى حول المحور الرأسى تسبب أيضاً عند بلوغ الكتل فى الوضع الرأسى قوة مساوية تارة لأعلا عند ما تكون كتلة الاتزان فى أعلا العجلة وتارة لأسفل عند ما تكون كتلة الاتزان فى أسفل العجلة ينتج عنهما اختلاف فى الضغوط على القضبان يتسبب عنه فى الحالات القصوى زيادة ضغط العجلة على القضيب إلى الضعف فى لحظة ورفع العجلة عن القضيب كلية فى اللحظة التالية وهو مالا يجب أن يحصل بأى حال من الأحوال .

من أجل ذلك فإن الكتل التوافقية توازن بثلثى مقدارها فقط وهذا بطبيعة الحال يترك جزءاً من الازدواج التموجى غير متزن غير أنه يحسن الاختلاف فى ضغط العجلة على القضيب بالقدر الذى يضمن سلامة السير وهذه الحالة لا مناص من قبولها ويجب على السكة أن تقوى على احتمالها .

إذن فالسكة تتعرض لصدمات جانبية من الازدواج الغير متزن ولصدمات رأسية من اختلاف ضغط العجلة على القضيب .

ثانيا — القوى الديناميكية الناشئة من تعرجات السكة :

هذه تنشأ من أن :

(١) مقاومة الترخيم للقضيب ليست بالدرجة المطلوبة .

(٢) نقط ارتكاز القضيب ليست دائما على أبعاد متساوية أو فى منسوب واحد .

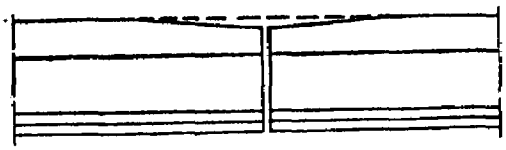
وهذه الحالة تسبب تعرجات فى سطح القضيب تجعله يأخذ شكل الموجة . وعلى ذلك فالعجلات التى تقع فى بطن الموجة تسبب قوة مركزية طاردة إلى أسفل . فاذا فرض مثلا أن البعد بين الفلنكات هو ٧٥ سنتيمترا وأن الترخيم بلغ ١/١٠ ملليمترا مثلا فان نصف قطر انحناء القضيب يبلغ سبعمائة مترا .

وإذا كان الثقل الواقع على العجلة يساوى ٩,٥ طنا مثلا وكانت سرعة القطار مائة كيلومتر فى الساعة فإن القوة المركزية الطاردة تبلغ نحو الطن .

وعلى ذلك فالتعرجات الرأسية فى السكة تزيد من الإجهادات التى يتعرض لها القضيب وهى تقدر بنحو ١٣ ٪ مما تحدثه الضغوط الاستاتيكية .

ثالثا — الصدمات عند الوصلة :

تبلغ الفجوة بين أطراف القضبان عدة ملليمترات وهذه المسافة تكفى لهبوط بعض العجلات لمسافة قد تبلغ ١/٢٥ ملليمترا . وهى بالنسبة لثقل العجلة تحدث صدمة عنيفة تعمل على طرق أطراف القضبان خصوصا إذا كان أحد الطرفين يعلو ولو بمقدار يسير عن الطرف الآخر . وتعمل هذه الصدمات الطارقة على سيولة المعدن فى سطح القضيب وتمدده إلى داخل الفجوة فيزيد الهبوط عندها . ويمتد أثر الصدمة إلى مسافة يسيرة على جانبى الفجوة فيبدو سطح القضيب عند طرفه مشطوفا انظر شكل نمرة (٣٢٣) . وتتأثر القضبان جميعا على هذا النحو فى ظرف شهرين من ابتداء وضعها فى السكة . هذا من جهة ومن جهة أخرى فلا يجب أن يغيب عن البال ما للوصلة من أثر هدام فى أطواق العجلات نفسها ولا سبيل إلى تلافى هذه الحالة أو إلى التخفيف من حدتها إلا باستعمال القضبان الطويلة أو وصل عدة أطوال متعاقبة باللحام كما سبق شرحه فى باب السكة .



شكل نمرة (٣٢٣)

رابعا — الصدمات التى يتعرض لها الزلط تحت الفلنكة واندفاع القضيب إلى الأمام :

بينا فى باب السكة أن القضيب عبارة عن عتب مستمر محمل على فلنكات وبالنسبة إلى مرونة القضيب فإن العجلة عندما تقع أثناء سيرها فى المسافة بين فلنكتين يتقوس القضيب إلى أسفل بينهما وإلى أعلا خارجهما فترتفع الفلنكات على الجانبين من مرقدها ثم تهبط مرة أخرى عند مرور العجلة فوقها . وهكذا تتعرض الفلنكات إلى حركة رأسية متعاقبة تعمل على دق الزلط تحتها وخلخلته .

هذا من جهة ومن جهة أخرى فإن العجلات فى أثناء سيرها تسير على سطح متموج ظهوره فوق الفلنكات وبطونه بينها فتدفع العجلات الظهور إلى الأمام مسببة تقدم القضيب فى اتجاه السير . وعلى ذلك فمن المفيد استعمال القضبان الثقيلة الموضوعة على فلنكات متقاربة فإن ذلك يقلل من تقوس الموجة .

خامسا — القوى الناشئة من عدم استقامة القضيب :

يجب أن تظل السكة مستقيمة والا فإن أى تعرج فيها — نتيجة انحراف أجزائها لسوء تركيبها أو إهمال صيانتها أو لانثناء بعض قضبانها — يواجه شفة العجلة فيدفعها إلى الجانب الآخر وهذا يردها ثانية إلى الجانب الأول وهكذا يتعرض القطار إلى حركة تموجية عرضية فى الاتجاه الطولى .

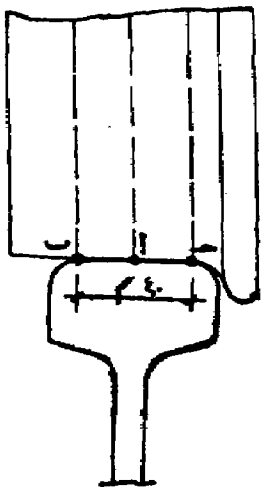
سادسا — القوى المركزية الطاردة فى المنحنيات :

ولو أننا نعمل على كبح جماح القوة المركزية الطاردة فى المنحنيات بتعلية قضيب الظهر عن البطن إلا أن هذه التعلية لا تناسب إلا السرعة التى حسبت منها . وعلى ذلك فالقطارات التى تمر على المنحنيات بسرعة أكبر تسبب قوة مركزية طاردة تعمل على زحزحة المنحنى إلى الخارج وتلك التى تمر على المنحنيات بسرعة أقل تسبب قوة مركزية طاردة تعمل على زحزحة المنحنى إلى الداخل . هذا إلى مايعترى حافات السير من التآكل الشديد .

وقد سبق أن ذكرنا عند الكلام عن تعلية قضيب الظهر عن البطن أن البروفسر بيترسن وجد بعد بحث احصائيات الصيانة فى شبكة السكك الحديد الألمانية أنه إذا كانت ظا ϕ — ظا $\beta \geqq \pm$ ٠٫٠٥ فإنه لا يحدث هناك تآكل يذكر فى القضبان فى المنحنيات . وهذه العلاقة تمكن من استنتاج السرعتين القصوى والصغرى اللتان تحددان السرع المسموح بها على المنحنيات .

سابعا — دفع العجلات السايبة للقضبان :

إن العجلات السايبة وهى التى تأثر تثبيتها فى دناجلها تدفع القضبان إلى الخارج بفعل شكل أطواقها المخروطى إذ أن نقط تماسها الداخلية مع القضيب تسير مسافة أطول من نقط تماسها الخارجية انظر شكل نمرة (٣٢٤) والعجلة فى هذا تكون أشبه شىء بأصبع الطباشير إذا دفع إلى الأمام اتخذ خط سيره طريقا منحنيا . وهذه العجلات السايبة تصدم القضيب إلى الخارج فتعمل على زحزحته كما تسبب تآكلا لامبرر له فى حافة سيره وفى سطحه العلوى .



شكل نمرة (٣٢٤)

ثامنا — تأثير العجلات القديمة :

إن العجلات اذا ماتآكلت أطواقها نتيجة طول الاستعمال تصبح اسطوانية بعد أن كانت مخروطية وبذلك إذا تعرضت العجلة إلى حركة عرضية فأنها تحتفظ بهذه الحركة ولمدة طويلة إذ هى تكون قد فقدت ميزتها التى كانت تعمل على تقويض هذه الحركة وإسكانها وبذلك تتعرض السكة إلى دفع عرضى يعمل على تموجها فى الاتجاه الطولى . ولهذا فإن العجلات القديمة يعاد خرطها لإكسابها الميل المطلوب .

تاسعاً — القوى الناشئة من زيادة سرعة القطارات أو تهديتها :

عند قيام القطارات أو عند إكسابها سرعا تفوق سرعها السائرة بها تعمل القاطرة على دفع القضيب إلى الخلف كما تدفعه إلى الأمام فى حالة التهديات يساعدها فى ذلك العربات المجهزة بالفرامل . ويحصل هذا فى العادة عند مداخل المحطات ومخارجها .

عاشراً — القوى الناشئة من الانحدارات :

تتعرض السكة فى الانحدارات إلى قوة تعمل على دفعها إلى أسفل وهذه القوة تساوى مركبة الوزن فى اتجاه الانحدار .

حادى عشر — القوى الناشئة من اختلاف درجة الحرارة :

يسبب اختلاف الحرارة جهوداً فى اتجاه طول القضيب تساوى معامل التمدد للصلب مضروباً فى معامل المرونة لكل درجة حرارة واحدة وهذه تساوى .

٠,٠٠٠٠١١٨ × ٢ × ١٠^٦ = ٢٣,٦ كجم للسنتيمتر المربع فإذا بلغ اختلاف درجة الحرارة « ن » درجة مثلا (٦٥° فى مصر) للمسنا مبلغ الإجهاد الشديد الذى تتعرض له القضبان .

ثانى عشر — القوى الناشئة من الشكل المخروطى للعجلات :

إذا فرضنا أن مستوى السير فى تاج القضيب يبلغ ٤٠ ملليمترا عرضا وأن قطر طوق العجلة عند منتصفها يساوى مترا فإن القطر عند حـ يزيد عن القطر عند ا بمقدار ٢ ملليمتر شكل نمرة (٣٢٤) . وبالمثل ينقص القطر عند ب بمقدار ٢ ملليمتر أيضا . وعلى ذلك فالفرق بين القطرين عند نهايتى سطح التماس ب ، حـ يبلغ أربعة ملليمترات . وحيث أن النقط الثلاثة تظل معا وحيث أن تركيز الضغط عند نقطة الوسط ا أكبر منه عند النقطتين ب ، حـ فإن النقطة ب تنزلق إلى الأمام ، حـ إلى الخلف كل منهما بمقدار ٢ π ملليمتر . وإذن فالأطواق الجديدة تعرض القضيب على الدوام لقوى الانزلاق هذه .

وإذا فرضنا أن الدنجل اندفع ناحية اليمين مثلا فإن مسار العجلة اليسرى يصبح أقل من مسار العجلة اليمنى وإذن تنزلق العجلتان اليسرى دافعة القضيب تحتها للأمام واليمنى للخلف . ويحصل العكس إذا اندفع الدنجل إلى الناحية اليسرى .

ثالث عشر — القوى الناشئة عن السير فى المنحنيات :

إن طول القضيب الداخلى فى المنحنيات أقصر من طول القضيب الخارجى وعلى ذلك فالعجلات الخارجية تنزلق إلى الأمام طاردة القضيب الخارجى أمامها والداخلية تنزلق إلى الخلف دافعة القضيب الداخلى وراءها .

تأثير القوى السالفة

إن القوى التى أتينا على شرح تأثيراتها فيما سبق تعمل على هدم السكة فى ثلاثة اتجاهات الاتجاه الرأسى والاتجاه العرضى والاتجاه الطولى .

الاتجاه الرأسى :

يقدر البعض زيادة الضغط نتيجة القوى الديناميكية بنحو ٦٠٪ من القوى الاستاتيكية . ولكى تستطيع السكة أن تقاوم هذه القوى الرأسية يجب أن يعتنى جيداً بدك الزلط تحت فلنكاتها والتأكد من أنها تحتفظ دائماً بمنسوبها الأول وخصوصا فلنكات الوصلة . هذا إلى ضرورة التأكد من أن البلنجات تقوم بوظيفتها وأن قلووظاتها محكمة دائما . وسنأتى على شرح هذه العمليات فى باب الصيانة والتجديدات .

الاتجاه العرضى :

وجد بالتجربة العملية أن الصدمة العرضية التى تنتاب القضيب من عجلة الجر تقدر بنحو ١٣٢٠٠ رطلا أى ٩ر٥ طنا . وتعمل القوى العرضية على اختلاف مصادرها على السكة فتزحزحها فى بعض المواضع عن محورها ويجب إعادة السكة فى هذه المواضع إلى مكانها ويتم ذلك بعملية يطلق عليها إسم تدريس السكة . وتتلخص هذه العملية فى استعدال الأطوال المعوجة بواسطة العتلة فيغرس العمال عتلاتهم فى الزلط خارج الطول المعوج بحيث تلمس العتلات قاعدة القضيب وهى مائلة إلى الخارج فإذا ما ضغطت العتلات جميعاً على دفعات يعتدل القضيب بالتدريج إلى أن يعود إلى مكانه . ولا يفوتنا هنا أن ننوه إلى ضرورة استعدال القضبان المعوجة قبل وضعها فى السكة وذلك باستعمال آلة الاستعدال الخاصة .

الاتجاه الطولى (الزحف Creep) :

إن القوى الطولية التى ذكرنا مفرداتها فيما سبق تؤثر على السكة فى اتجاه طولها وتسبب بجملتها زحف القضبان إلى الأمام أى تقدمها فى اتجاه السير . وقد استرعت هذه الظاهرة نظر ستيفنسن منذ عام ١٨١٦ . ويعتبر هذا التقدم من أكبر العيوب المضنية التى تنتاب السكة والتى إذا لم يكبح جماحها فهى أخطر الأمور التى يواجهها مهندس السكك الحديدية . وتتقدم القضبان فى الخط المزدوج كل سكة فى اتجاه الحركة فوقها أما فى الخط المفرد فإن التقدم يحصل فى الاتجاه الذى تزداد فوقه الحركة .

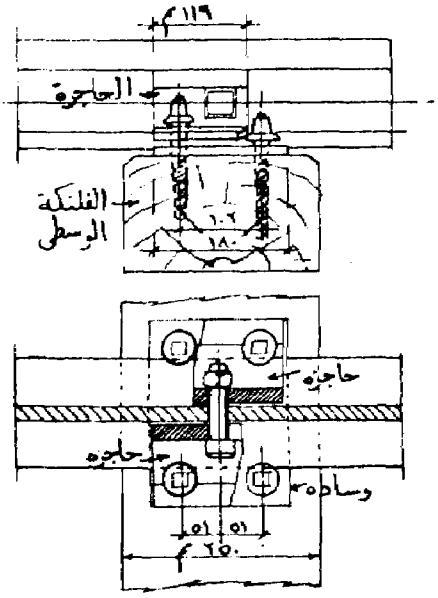
وهناك عامل آخر يؤثر فى مقدار الزحف لم نأت على ذكره فيما سبق وهو نوع مادة أساس السكة ففى الأسس الصخرية يقل مقدار الزحف عنه فى الأسس الأخرى كالجسور الترابية وما ماثلها التى لها من المرونة ما يساعدها على إيثار تموجات فى القضبان تزيد من دفع العجلات لها وبالتالى مقدار تقدمها . وقد لوحظ أن أسوأ حالات الزحف تظهر فى السكك المقامة عبر مناطق المستنقعات ففى كندا بلغ الزحف عشرين مترا وثلاثين .

وقد تبين للمهندسين الأمريكيين حوالى سنة ١٨٩٠ — نتيجة المعاينات التى قاموا بها فى جملة مواضع — أن القضبان الديسمتريكية أكثر زحفا من قضبان الفنيول . ولعل السبب فى ذلك أن الدبذبة التى

تتعرض لها السكة تعمل على خلخلة الخوابير من مكانها وهذا يعزز ما اتجه إليه الرأى فى انجلترا منذ حين من استعمال الكراسى ذات الخوابير المستقيمة بدل الكراسى ذات المجارى المشطوفة حتى تقل قابلية الخابور للتخلخل بالاهتزازات وبهذه الطريقة يتسنى دق الخابور من أى الجهتين .

وربما كانت الإجهادات الناتجة عن اختلاف درجات الحرارة أكثر الإجهادات تأثيراً فى خلخلة القضبان من مواضعها وهذه يكون تأثيرها أظهر فى بلاد الجو الحار مثل بلادنا . ويأخذ الزحف الناتج عن الحرارة حركته فى الصباح الباكر والمساء المتأخر وفى بداية فصلى الصيف والشتاء حيث يبلغ التراوح فى درجات الحرارة أشده . وقد يبلغ الإجهاد فى بعض الحالات درجة تكفى لكسر البلنجات ومساميرها .

وتقف أربطة القضبان فى الفلنكات فى سكة الفنيول حائلا دون تقدم القضبان ولكن القضبان مع ذلك تتقدم وهى فى هذا تعمل على فك الأربطة وعلى ذلك فمن المهم جداً أن يعتنى بربط المسامير الخشابى ومسامير البلنجات .



شكل نمرة (٣٢٥)
الحاجزة

وقد عمد إلى زيادة المقاومة ضد الزحف باستعمال بلنجات طويلة تثبت من الجهتين فى فلنكتى الوصلة كما هو الحال فى بلنجة سكة الفنيول ٤٧ كجم القديمة شكل نمرة (٥٦) د صفحة (٦٧) وكذلك باستعمال حاجزتين تربطان القضيب بالفلنكة الوسطى شكل نمرة (٣٢٥) قطاعهما هو نفس قطاع البلنجة وبذلك تزداد المقاومة ضد الزحف . غير أن هذا العلاج لم يف بالغرض إذ أن الزحف كانت تصحبه ظاهرة غريبة لم تعلل بعد التعليل الموافق وهى أن القضيب الأيسر يزحف بمقدار أكبر من القضيب الأيمن وبالأخص فى سكك الفنيول . وتبلغ هذه الزيادة فى بعض الأحيان نحواً من خمس وعشرين سنتيمترا بعد مضى ثلاثة سنوات أو أربعة من بداية الحركة على الخط .

وتتأثر السكة بالزحف على النحو الآتى :

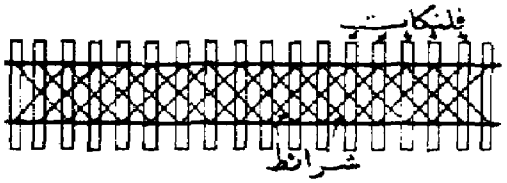
أولا — تميل فلنكتا الوصلة بعد أن كانتا متعامدتين على محور السكة فيقل الاتساع كما تميل أيضا فلنكة الحاجزة .

ثانياً — تسد الفجوة عند الوصلة فى بعض الأحيان مما قد يتسبب عنه تعرج رأسى أو عرضى فى القضبان نتيجة تمددها أثر ارتفاع درجة الحرارة .

ثالثاً — إذا حصل الزحف بالقرب من إبر التفريعات فإن هذه تتأثر به كما تتأثر التوصيلات لأكشاك الإشارة ويختل جهاز الارتباط .

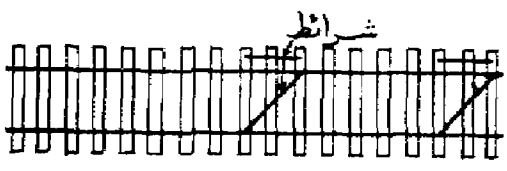
رابعاً — إذا حصل الزحف بالقرب من الكبارى المتحركة فإنه قد يؤثر فى عملية فتحها .

وقد عمد المهندسون بادىء ذى بدء إلى ربط الفلنكات ببعضها فى المواقع التى تتأثر بالزحف بواسطة شرائط مبططة من الصلب على النحو المبين فى الشكل نمرة (٣٢٦) والذى كان مستعملا فى السكك الحديد المصرية فكان يربط زوج واحد من القضبان كل إثنى عشر زوجاً . ولكن هذه الطريقة كانت تساعد على ظهور تعرج فى السكة عند نقط بدايات الأطوال المربوطة إذ كانت الفجوات المحصورة فى الأحد عشر طولا بينها تسد بالتدريج وتقف أخيراً عند بداية الأطوال المربوطة كما أن الأشرطة كانت تعوق عملية الدك المجدى إلا إذا فكت .



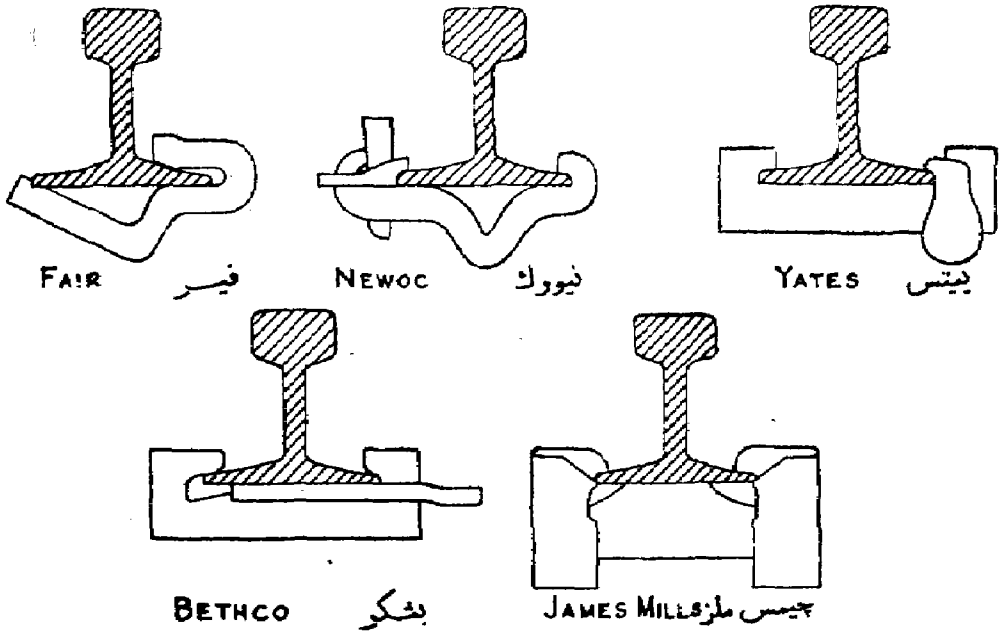
شكل نمرة (٣٢٦)

وقد عدلت هذه الطريقة فيما بعد فى سنة ١٩٢٩ وذلك بتخفيف هذه الأربطة فربطت ستة فلنكات فقط ثلاثة عند أحد طرفى القضيب وثلاثة عند موضع الحاجزة كما هو مبين فى الشكل نمرة (٣٢٧) وكان تأثيرها فى منع الزحف حسناً غير أن الأربطة المستعملة كانت من مخلفات سكك القصع القديمة ولما نفذت هذه أصبح الاستعاضة عنها بأشرطة جديدة أمراً يتكلف كثيراً ولذا فقد بدىء منذ عام ١٩٣٣ باستعمال مانعات زحف جديدة كانت قد استعملت قبلا فى سكك حديد فرنسا وأمريكا وألمانيا واستغنى عن الحاجزة .



شكل نمرة (٣٢٧)

مانعات الزحف Rail Anchors :



شكل نمرة (٣٢٨)

مانعات الزحف

مانعات الزحف هى أربطة من الصلب تثبت فى القضيب أمام الفلنكات بحيث تكون ملاصقة لها تماماً وتؤدى وظيفتها بأن تحول دون زحف القضبان نتيجة وقوف الفلنكة فى طريقها . ويعتمد بعضها فى تماسكه على فعل خابور والبعض الآخر على انقباضه كسوسته . والشكل نمرة (٣٢٨) يبين أنواع هذه المانعات .

وقد قمت بتجربة أنواع هذه المانعات فى معمل المواد بكلية الهندسة بالجيزة سنة ١٩٣٦ فأعطت النتائج المجدولة فيما يلى والأرقام تبين الحمل الذى بدأت عنده موانع الزحف فى الانزلاق .

النـــوع	تركيب مصلحة السكك الحديدية		تركيب معمل المواد
	المجموعة الأولى	المجموعة الثانية	المجموعة الثالثة
	كيلو جرام	كيلو جرام	كيلو جرام
فير Fair P & M	١٢٨٧	١١٠٧	١٢١٤
نيووك Newoc	٧٦٠	٣٩٣٨	٣٨٧٠
يتس Yates	١٥١٧	٣٤٣٥	٢٤٩٢
بثكو Bethco	٤٧٨٠	٤٨٤٨	٧٠٩٠
جيمس ميلز James Mills	٢٤١٥	٩٧	٣٨١٠

وللوصول إلى أحسن النتائج يجب أن يتوفر فى مانعات الزحف مايلى :

أولا — القدرة على منع الزحف مع تحمل الإجهادات التى تتعرض لها .

ثانيا — رخص ثمنها .

ثالثا — بساطة شكلها وسهولة تركيبها .

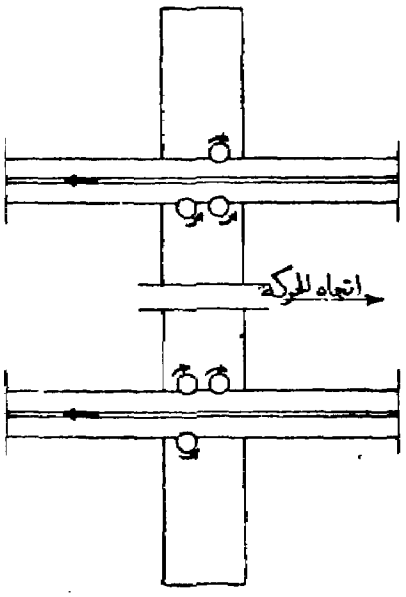
رابعا — تماسكها بالقضيب على الدوام .

والنوع الذى وقع عليه الاختيار أولا فى مصر هو النيووك الذى يعتمد فى تماسكه بالقضيب على فعل الخابور ويتكون من ثلاثة قطع ثم استعمل بعد ذلك الفير الذى يعتمد فى تماسكه على انقباضه كسوسته . ويتوقف عدد المانعات فى القضيب الواحد على مقدار الزحف فيتراوح من أربعة إلى ستة . ويستعمل أربعة فى العادة فى قضبان الإثنى عشر مترا فتوضع اثنتين فى الجزء الأوسط من القضيب وواحدة بقرب نقطة الربع من الجهتين فاذا لوحظ زحف بعد ذلك زيد عدد الموانع .

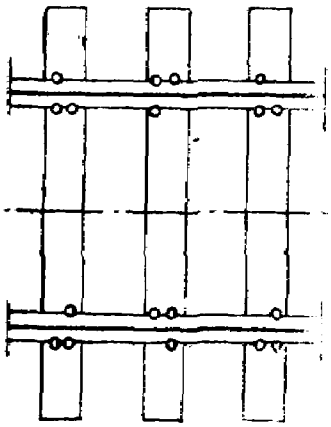
وليس من المجدى وضع موانع الزحف بالقرب من المفاتيح والتحاويل ولذا فيمتنع من وضعها على بعد بضعة أطوال قبلها . كما أنه ليس من المجدى استعمال هذه الموانع فى السكك الغير معتنى بتزليطها إذ أن الموانع تعتمد فى أداء وظيفتها على ثبات الفلنكات .

زحف القضيب الأيسر بالنسبة للقضيب الأيمن فى الخطوط المزدوجة :

استرعت هذه الظاهرة بال مهندسى السكك الحديدية فى العالم فعزاها بعضهم إلى أن التزليط بجوار القضيب الأيسر وهو بالقرب من ميل الجسر ليس له سند مثل ما للتزليط فى وسط السكة وعزاها الأستاذان عزمى رئيس قلم المشروعات والمرحوم الرخاوى مساعد كبير المهندسين الأسبق للاشارات إلى وضع المسامير الخشابى حيث جرت العادة إلى تثبيت القضيب فى الفلنكة بواسطة مسمارين من الداخل ومسمار واحد من الخارج شكل نمرة (٣٢٩) فعندما تمر العجلات على القضيب تدفعه إلى الخلف وهذه الحركة تعمل على ربط المسمار الخارجى فى القضيب الأيسر وفك المسمارين الداخليين والعكس بالعكس فى القضيب الأيمن إذ يربط المسماران الداخليان ويفك المسمار الخارجى . ويكون نتيجة ذلك أن يصبح القضيب الأيسر مربوطا بمسمار واحد والأيمن بمسمارين . فإذا سلمنا بذلك أتت العوامل الأخرى وأهمها صدمة العجلة الأولى لمقدمة القضيب عند الوصلة فيندفع القضيب الأيسر بطبيعة الحال بأكثر مما يندفع القضيب الأيمن . واقترح الأستاذ الرخاوى عمل تجربة فى مسافة محصورة بين محطتين مع تغيير طريقة تثبيت القضبان على الفلنكات على النحو الموضح فى الشكل نمرة (٣٣٠) حتى يكون عدد المسامير من الداخل مساوياً عددها من الخارج .



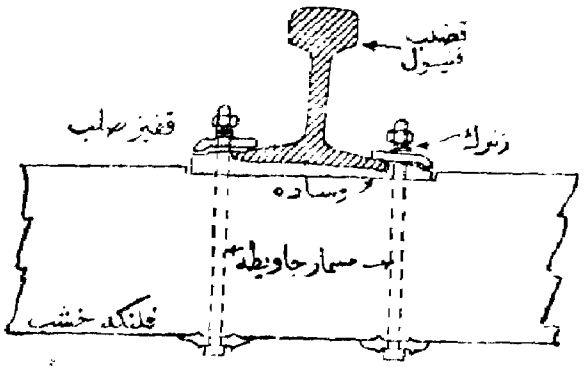
شكل نمرة (٣٢٩)


شكل نمرة (٣٣٠)

وقد تمت تجربة هذه الطريقة عام ١٩٣٩ بالخط النازل بنها بور سعيد بين كيلو ١٠٣ و ١١٠ فكانت النتيجة أن تساوى الزحف فى قضيبى السكة الأيمن والأيسر تقريباً . غير أن مقدار الزحف جملة أى للقضيبين معاً زاد حتى وصل إلى ضعف الزحف العادى . ومعنى ذلك أن الزحف النسبى بين القضيبين قد توقف — وهذه خطوة موفقة ولا شك تعزز تعليل الأستاذين — وأن الزحف العادى قد ازداد وذلك راجع إلى أن المسامير الرابطة قلت فأصبحت بنسبة ٣ : ٤ . ويتضح من ذلك أن العلاج المطلوب الآن ينحصر فى مقاومة الزحف العادى .

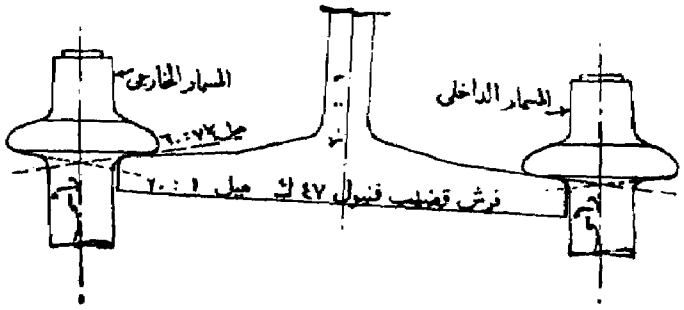
ويعزو الأستاذ حسين زهدى رئيس أقسام هندسة السكة الحديد بأسيوط الزحف جملة إلى أن المسمار الخشابى الذى يربط فرش القضيب بالفلنكة لا يبقى ضاغطاً باستمرار وذلك نتيجة العوامل الطبيعية كالتمدد

والانكماش والاهتزازات الشديدة التى تنشأ عن حركة القطارات السريعة فيزحف القضيب حتما واقترح العدول عن استعمال المسمار الخشابى باستعمال مسمار الجاويطة المبين فى الشكل نمرة (٣٣١) والمستعمل فى ربط الكراسى فى سكك حديد (G. W. R.) بانجلترا لضمان إحكام ضغط قفيز المسمار على فرش القضيب بفضل وجود الزنبرك ولوجود سطح احتكاك كبير بينهما بخلاف المسمار الخشابى .



شكل نمرة (٣٣١)

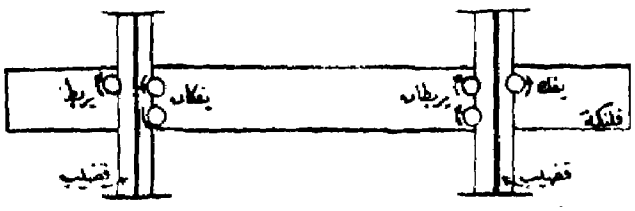
ويقينى أن الزحف راجع إلى استعمال مسمار واحد فى ربط فرش القضبان من الداخل والخارج لا يتفق ميل سطح ضغطه مع ميل سطحى فرش القضيب وذلك بالنسبة إلى إمالة القضيب للداخل شكل نمرة (٣٣٢) . فإذا عملت مسامير للربط من الداخل وأخرى للربط من الخارج يتفق ميل سطح ضغط كل



شكل نمرة (٣٣٢)

منها مع ميل سطح فرش القضيب لأمكن زيادة سطوح الاحتكاك وحبذا لو جرب ذلك بالطريقة التى اقترحها الأستاذ الرخاوى وأيضاً بالطريقة العادية .

وإذا نظرنا للمسامير الخشابى الحالية لوجدنا أن سطوح الضغط للمسامير الداخلية تقرب من ميل فرش القضيب بينما يختلف الميل كثيراً فى حالة المسامير الخارجية وإذن فسطح الاحتكاك الذى يربط فى القضيب الأيمن يزيد عن سطح الاحتكاك الذى يربط فى القضيب الأيسر . وسطح الاحتكاك الذى يفك فى القضيب الأيسر أكبر من سطح الاحتكاك الذى يفك فى القضيب الأيمن وفى هذا ما يزكى تعليل الأستاذين عزمى والرخاوى من أن القضيب الأيمن أكثر ثباتاً من القضيب الأيسر انظر شكل نمرة (٣٣٣) .



شكل نمرة (٣٣٣)

الزحف فى السكة المركبة على فلنكات الصلب :

لم يظهر للزحف أثر يذكر فى هـذه السكك ولولا قصر عمر الفلنكة الصلب بالإضافة إلى عيوبها الأخرى لحلت هذه السكة محل السكة المركبة على الفلنكات الخشبية إن لشيء فلدرىء مشكلة الزحف .

المصالبة :

وتتكلف مصالح السكك الحديد المختلفة مبالغ لا يستهان بها فى عملية إعادة وضع الفلنكات إلى موضعها العمودى الأصلى وإعادة القضبان وفتح الفجوات وهى ما تسمى بعملية المصالبة Squaring وكذلك فى ضبط التقاطعات والتفرعات . وتتكلف مصلحة السكك الحديد المصرية فى ذلك مبلغاً يتراوح بين خمسة آلاف وسبعة آلاف جنيه سنويا فى الأوقات العادية هـذا إلى العناء الذى تسببه هذه العملية وكذلك التأخيرات التى تنشأ عن تهدية القطارات .

ويجب ملاحظة الزحف باستمرار حتى إذا زاد عن القدر المسموح به وهو حوالى ٣٠ سنتيمترا فى السكك الحديد المصرية أعيدت القضبان إلى مواضعها الأولى وتركت بينها الفجوات الأصولية حسب درجات الحرارة كما تعاد الفلنكات المبرجلة إلى مواضعها العمودية ويعاد تقسيط مسافاتها .

ففى سكة الفنيول تفك مسامير البلنجات ثم تهوى المسامير الخشابى فيسمح ذلك بإرجاع القضبان إلى أوضاعها بعد ضبط اتساع فجواتها ثم تستبدل الفلنكات وتربط البلنجات وتقرط المسامير الخشابى .

أما فى سكة الديسمتريكى فتفك مسامير البلنجات ثم ترفع الخوابير وتعاد القضبان إلى أوضاعها بعد ضبط اتساع فجواتها ثم تستعدل الفلنكات وتربط البلنجات وتدق الخوابير .

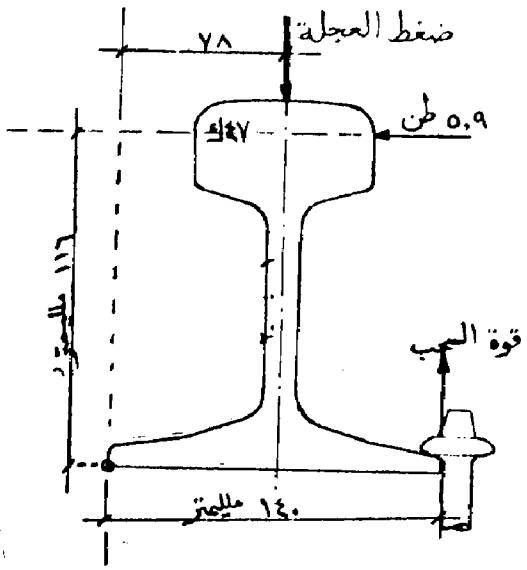
الإجهادات على المسامير الخشابى والفلنكات والوسائد

اجهاد القص على المسمار :

ذكرنا فيما سبق أن قوة الصدمة العرضية التى تنتاب القضيب من عجلة الجر تبلغ ٥٫٩ طنا . وبالنسبة لقدرة القضيب على مقاومة الترخيم فى الاتجاه الأفقى تعتبر الصدمة قد انتقلت إلى أربطة ثلاثة فلنكات على الأقل أى تسعة مسامير فى حالة استعمال الوسائد .

ويساعد الاحتكاك بين الوسادة والفلنكة على مقاومة جانب منها يتوقف على معامل الاحتكاك بين الخشب والصلب الذى يبلغ نحو ٠٫٤ فى المتوسط وعلى ضغط العجلة وقت حدوث الصدمة العرضية وهذا يحدث بطبيعة الحال عند بلوغ الازدواج التموجى أقصاه .

قوة السحب على المسمار الخشابى :



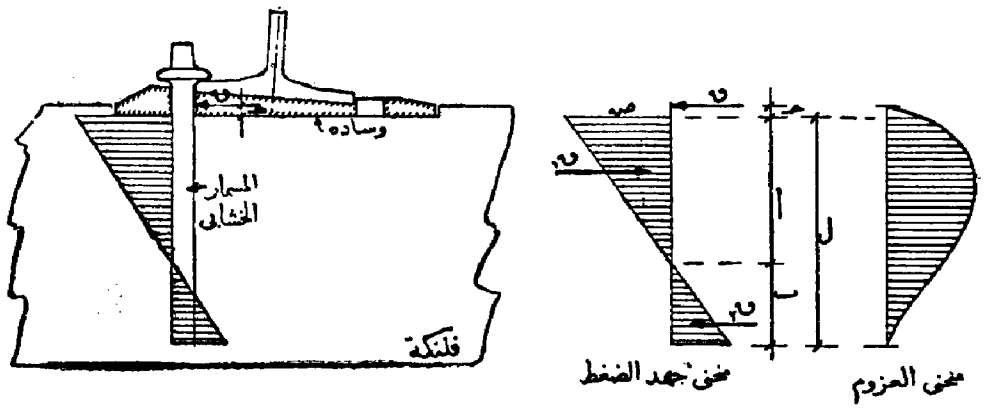
شكل نمرة (٣٣٤)

إن الصدمة العرضية ٥٫٩ طنا التى أتينا على ذكرها فيما سبق تعمل على قلب القضيب حول حافته الخارجية ولكن ضغط العجلة وقت حدوث الصدمة يعمل فى نفس الوقت على مقاومة هذا الانقلاب ويمكن استنتاج قوة السحب على المسامير الداخلية بأخذ العزوم حول الحافة الخارجية للقضيب انظر شكل نمرة (٣٣٤) .

وتتعرض المسامير علاوة على ذلك لقوة سحب نتيجة تعاقب تقوس القضيب لأعلا عند الفلنكات فى أثناء مرور القطار ومن أجل هذا فإن زيادة ارتفاع القضيب وانقاص مسافة الفلنكات إلى الحد الأدنى تساعد على تقليل التقوس وبالتالى انقاص قوة السحب .

اجهاد الضغط على خشب الفلنكة فى اتجاه الألياف :

إن القوة العرضية التى تنتاب المسمار الخشابى فى أعلاه تنتقل إلى خشب الفلنكة فتسبب إجهادات ضغط على الألياف المواجهة له فى أعلاه ومثلها على الألياف خلفه فى أسفله انظر شكل نمرة (٣٣٥) ويبلغ الإجهاد أشده عند سطح الفلنكة .



شكل نمرة (٣٣٥)

وحيث أن مقدار الترخيم فى المسمار ضئيل جدا فإنه يمكن اعتبار الضغوط على الخشب موزعة توزيعا خطيا .

ولاستنباط معادلة تربط قوة القص ق مع إجهاد الضغط ص نفرض أن :

ح = مسافة القوة ق من قاعدة الوسادة .

ف ل = المسافة التى يغورها المسمار فى الخشب .

فإذا كان ا ف ب هما عمق الألياف المعرضة للضغط أمام المسمار وخلفه فإن القوتين ق١ ف ق٢ تتناسبان مع مساحتى المثلثين ومن ذلك ينتج أن :

$$\frac{ق_1}{ق_2} = \frac{ا^2}{ب^2} \qquad \therefore ق_1 = ق_2 \cdot \frac{ا^2}{ب^2}$$

وحيث أن محصلة القوى الأفقية تساوى صفرا

$$\therefore ق_1 = ق + ق_2$$

وحيث أن ل = ا + ب

فبأخذ العزوم حول أى نقطة على خط عمل القوة ق ينتج أن :

$$ق_2 (ل + ح - \tfrac{1}{3} ب) - ق_1 (\tfrac{1}{3} ا + ح) = \text{صفرا}$$

وبتعويض قيمة ق١ بما تساويه ووضع ا = ل - ب ينتج أن :

$$ب = \frac{ل (ل + ٣ ح)}{٣ (ل + ٢ ح)}$$

$$ف ا = ل - ب = \frac{ل (٢ ل + ٣ ح)}{٣ (ل + ٢ ح)} \qquad (١)$$

فإذا فرض أن قطر المسمار يساوى س وأن ق١ = ½ ا س ص

وعلم أن ق = ق١ - ق٢

فإن $ق = \frac{ص س ل^2}{٤ ل + ٦ ح}$

ف $ص = \frac{ق (٤ ل + ٦ ح)}{س ل^2}$ (٢)

ولنأخذ مثلا لذلك مسمارا قطره ⅜ بوصة أى ١٦ ملليمترا وارتفاع الجزء الغائر منه ل = ١٢٠ ملليمترا فإذا فرضنا أن قوة الدفع العرضية فى أعلاه تبلغ ٢٠٠ كيلو جراما مثلا وأن سمك الوسادة عند المسمار = ١٧ ملليمترا أى ح = ٨٫٥ ملليمترا .

فإن ا = ٧٧٫٦ ملليمترا .

ف ب = ٤٢٫٤ » .

ف ص = ٤٦٫٠ كيلو جراما للسنتيمتر المربع وهو جهد دون المسموح به للأخشاب الجيدة .

جهد الانحناء على المسمار الخشابى :

إن أقصى عزم انحناء على المسمار يحصل عند الوضع الذى يصبح القص فيه صفرا . وهو فى المثال المذكور يقع على عمق ٢ر٣٥ ملليمترا من قاعدة الوسادة .

وعزم الانحناء عند هذا الوضع = ٥ر٤٨٦ كيلو جرام سنتيمتر .

وجهد الانحناء = $\frac{٣٢ \times ٤٨٦٥}{٣١٦ \times \pi}$ = ١ر١٢ كيلو جراما للملليمتر المربع .

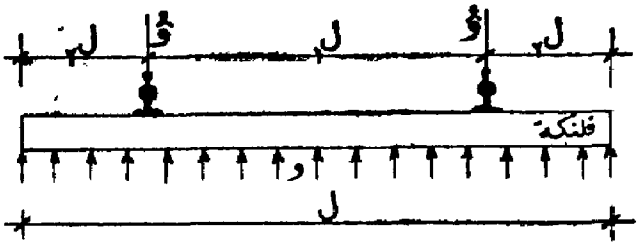
وهو الجهد العادى فى الشد للصلب . ويمكن تقليل مقدار الجهد عن ذلك بجعل المسمار مسلوبا من أعلاه ولعمق أربعة سنتيمترات أو أربعة سنتيمترات ونصف .

جهد الضغط على الخشب تحت الوسادة :

يمكن اعتبار ضغط العجلة واقعا على وسادتين ويصيب الوسادة الواحدة فى الحالة القصوى ٦ر٧ طنا ويبلغ جهد الضغط على الخشب فى حالة القضيب ٤٧ فى السكك الحديد المصرية حوالى ٧ر١٧ كيلو جراما للسنتيمتر المربع وهو ما يستطيع الخشب أن يتحمله بدون تأثر .

جهد الانحناء فى الفلنكة :

إذا هبطت الفلنكة لأى سبب من الأسباب كإهمال صيانتها مثلا أصبحت ترتكز على طولها بأكمله وفى هذه الحالة يمكن اعتبارها كعتب مقلوب محمل على القضيبين انظر شكل نمرة (٣٣٦) .



شكل نمرة (٣٣٦)

فإذا فرض أن طول الفلنكة = ل

$$= ل_١ + ٢ ل_٢$$

وكان أقصى ضغط للعجلة على القضيب = ق

فإن عزم الانحناء فى وسط الفلنكة $ع_ط = \frac{ول_١^٢}{٨} - \frac{ول_٢^٢}{٢}$ (١)

وعزم الانحناء عند القضيب $ع_ق = \frac{ول_٢^٢}{٢}$ (٢)

حيث و هو الحمل الموزع تحت الفلنكة .

ويمكن استنتاج أنسب طول للفلنكة بمساواة العزمين ع$_{ط}$ ، ع$_{ك}$

$$\text{أى } \frac{\text{و ل}_{١}^{٢}}{٨} - \frac{\text{و ل}_{٢}^{٢}}{٢} = \frac{\text{و ل}_{٢}^{٢}}{٢}$$

ومنه ينتج أن ل$_{١}$ = ٢٫٨٣ ل$_{٢}$ أو ل$_{٢}$ = ٠٫٣٥٤ ل$_{١}$

وعلى ذلك فطول الفلنكة ل = ل$_{١}$ + ٢ ل$_{٢}$ = ل$_{١}$ + ٢ × ٠٫٣٥٤ ل$_{١}$ = ١٫٧٠٨ ل$_{١}$

وبذلك يكون أنسب طول لفلنكة سكة الاتساع العادى = ١٫٧٠٨ × ١٫٥ = ٢٫٥٦ مترا .

ويؤخذ هذا الطول فى السكك الحديد المصرية ٢٫٦٠ متراً .

ويكون أقصى جهد للانحناء لفلنكة مقطعها ٢٥ × ١٥ سم = ٢٠٠ كجم للسنتيمتر المربع وهو جهد عال نوعاً إذ يبلغ حوالى ربع جهد الكسر فى الانحناء للأخشاب الجيدة .

تأثير تطويل الفلنكة أو تقصيرها :

عزم الانحناء فى وسط الفلنكة ع$_{ط}$ $= \frac{\text{و}}{٨} (\text{ل}_{١}^{٢} - ٤\,\text{ل}_{٢}^{٢})$

$= \frac{\text{و}}{٨} (\text{ل}_{١} - ٢\,\text{ل}_{٢})(\text{ل}_{١} + ٢\,\text{ل}_{٢})$

$= \frac{\text{ق}}{٤} (\text{ل}_{١} - ٢\,\text{ل}_{٢})$ (٣)

وعزم الانحناء عند القضيب ع$_{ك}$ $= \frac{\text{و}}{٢٠} \text{ل}_{٢}^{٢}$

$= \frac{\text{ق ل}_{٢}^{٢}}{\text{ل}_{١} + ٢\,\text{ل}_{٢}}$ (٤)

وبتقصير طول الفلنكة ينقص البعد ل$_{٢}$ ويتبع ذلك زيادة عزم الانحناء فى وسط الفلنكة كما يظهر من المعادلة (٣) .

وبتطويل الفلنكة يزداد البعد ل$_{٢}$ ويتبع ذلك زيادة عزم الانحناء تحت القضيب أيضاً كما يظهر من المعادلة (٤) .

وحيث أن عزم مقاومة الفلنكة ثابت إذ هو يتوقف على عرضها وسمكها وجهد الأمان فى الانحناء لمادة خشبها فإن تطويل الفلنكة أو تقصيرها عن ١٫٧٠٨ ل$_{١}$ يجعلها أقل قدرة على احتمال ضغط العجلة ق .

التجارب التى تجرى على شعب الفلنكات :

يتضح مما سبق شرحه عن الإجهادات فى الفلنكات أن الفلنكة تتعرض إلى ضغوط رأسية فى

اتجاه سمكها وعرضية فى اتجاه طولها كما تتعرض للانحناء أيضا وعلى ذلك تجرى التجارب الآتية على مادة خشبها لمعرفة خواصها :

أولا — تجربة الضغط فى اتجاه عمودى على الألياف .

ثانيا — « « « « الألياف .

ثالثا — « انحناء بجعل الألياف أفقية .

وهذه هى التجارب الأساسية التى توصى بها المواصفات البريطانية غير أن هناك تجربة رابعة ثانوية تشير بإجرائها وهى تجربة الصلابة . راجع المواصفات البريطانية رقم ٣٧٣ — سنة ١٩٣٨ .

جهد الانحناء على الوسادة :

يجب أن يكون سمك الوسادة تحت حافتى فرش القضيب كافيا لتحمل جهود الانحناء الناتجة من الضغوط الواقعة تحت الجزء البارز للوسادة . وقد ذكرنا قبلا أن جهد الضغط تحت وسادة القضيب ٤٧ فى السكك الحديد المصرية يبلغ أقصاه ١٧٫٧ كيلو جراما للسنتيمتر المربع وهذا يقابله جهد انحناء أقصى فى الوسادة مقداره ١١٫٥ كيلو جراما للملليمتر المربع تحت الحافة الداخلية لفرش القضيب وهو أقل من جهد الأمان فى الشد للصلب العادى .

الجهد فوق أساس السكة :

ينتقل ضغط العجلة خلال القضيب إلى الفلنكة ومن مساحة الارتكاز فى الفلنكة خلال التزليط إلى أساس السكة بزاوية ميلها ٢ : ١ مع الأفق . ويجب أن تقوى تربة الأساس على تحمل هذه الضغوط وإلا زيد سمك التزليط بالقدر الذى يفى بعدم تجاوز مادة الأساس جهودها المسموح بها .